

УДК 553.491.8 (470.55/.57)

© Коллектив авторов, 2014

ПЛАТИНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В УЛЬТРАМАФИТАХ МАССИВА СРЕДНИЙ КРАКА, ЮЖНЫЙ УРАЛ**Д.Е.Савельев (ИГ УНЦ РАН), Е.В.Белогуб, В.В.Зайков (ИМин УрО РАН), В.И.Сначев (ИГ УНЦ РАН), В.А.Котляров, И.А.Блинов (ИМин УрО РАН)**

Охарактеризованы проявления платинометальной минерализации на массивах Крака, связанные с небольшими телами железистых хромититов в клинопироксенитах габброидного комплекса. Минералы металлов платиновой группы представлены тетраферроплатиной, железистым бреггитом, плюмбопалладинитом, лауритом и эрликманитом. Обоснована перспективность юго-западной части массива Средний Крака на благороднометальное оруденение.

Ключевые слова: Крака, клинопироксениты, верлиты, ультрамафиты, офиолиты, хромититы, платина, палладий, лаурит, эрликманит.

Савельев Дмитрий Евгеньевич, sav171@mail.ru, Белогуб Елена Витальевна, bel@mineralogy.ru, Зайков Виктор Владимирович, zaykov@mineralogy.ru, Сначев Владимир Иванович, SAVant@inbox.ru, Котляров Василий Алексеевич, kotlyarov@mineralogy.ru, Блинов Иван Александрович, mohauk@mail.ru

PGE MINERALIZATION IN THE ULTRAMAFIC ROCKS OF SREDNY-KRAKA MASSIF, SOUTH URALS**D.E.Saveliev, E.V.Belogub, V.V.Zaykov, V.I.Snachev, V.A.Kotlyarov, I.A.Blinov**

Occurrences of PGE mineralization in ultramafic rocks of Kraka ophiolite massifs are described. PGE minerals occur in small bodies of Fe-chromitites hosted by clinopyroxenites of gabbroid complex. Tetraferroplatinum, braggite, plumbopalladinite, laurite, and erlichmanite present the PGE minerals. Prospectivity of the Kraka massifs as PGE objects are substantiated.

Key words: Kraka, clinopyroxenite, werlite, ultramafic rock, ophiolite, chromitite, platinum, palladium, laurite, erlichmanite.

Изучение платиноносности офиолитовых ультрамафитов Южного Урала началось в 60-е годы прошлого столетия [16] и затем sporadически проводилось производственными организациями до

конца 80-х годов (Е.А.Шумихин и др., 1987 г.). Существенных положительных результатов при этом получено не было. Наиболее активно благороднометальную минерализацию ультраосновных массивов

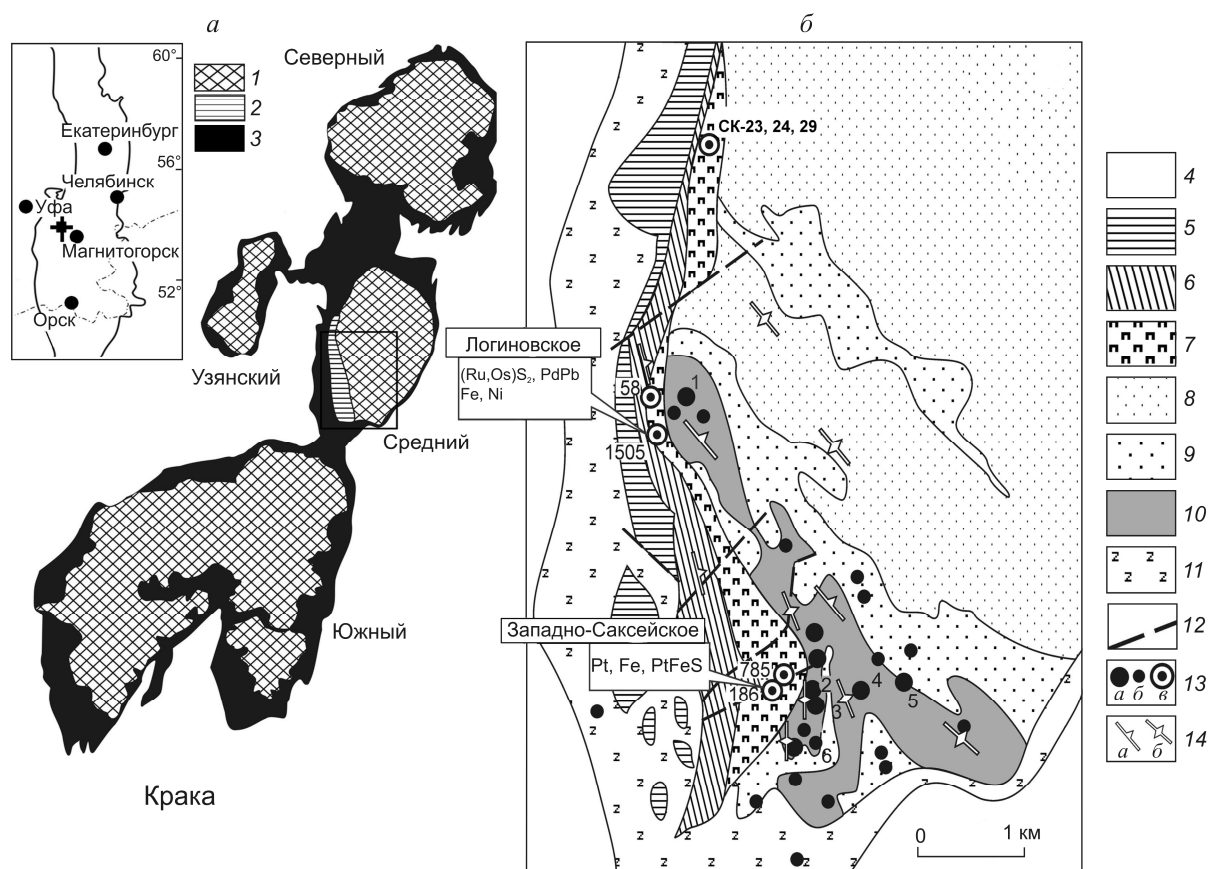


Рис. 1. Обзорная схема геологического строения массивов Крака (а), геологическое строение юго-западной части массива Средний Крака (б):

1 — породы ультрабазитового комплекса (лерцолиты, гарцбургиты, дуниты); 2 — породы габброидного комплекса (верлиты, клинопироксениты, габбро); 3 — серпентиниты; 4 — вмещающие осадочные породы; *габброидный комплекс*: 5 — габбро, габбро-диориты, габбро-диабазы с однородной текстурой, 6 — габбро роговообманковое гнейсовидное, 7 — верлиты и клинопироксениты; *ультрабазитовый комплекс*: 8 — лерцолиты и гарцбургиты, 9 — дунит-гарцбургитовый комплекс (30–70% дунитов), 10 — преимущественно дуниты (более 70%); 11 — серпентиниты хризотилловые; 12 — разрывные нарушения; 13 — *хромитопоявления* (а — месторождения и рудопоявления, их номера — 1 — Ключевское, 2 — Правый Саксей, 3 — № 1108, 4 — Левый Саксей, 5 — Шатран, 6 — Акбура; б — мелкие рудопоявления и точки минерализации; в — положение изученных образцов); 14 — залегание первичной полосчатости (а — наклонное, б — вертикальное); СК — Саксей-Ключевская площадь

вов Южного Урала начали изучать с 90-х годов [2–4, 6, 12–14]. В это время установлена платиноносность полосчатого комплекса Нуралинского массива, в пределах которого были выявлены Западно-Шерамбайское и Приозерное рудопоявления [11]. На массивах Крака основное внимание уделялось потенциальной платиноносности месторождений и рудопоявлений хрома, залегающих среди дунитов и краевых серпентинитов. В рудах отдельных объектов Хамитовской площади массива Средний Крака были определены высокие концентрации Pt до 3,2–5,4 г/т [5, 14]. Вместе с тем, отдельные высокие значения содержания металла были единичны, преобладали низкие. Закономерности распределе-

ния элементов платиновой группы и собственные минералы платиноидов установлены не были.

Следует отметить, что в работах Ю.А.Волченко с соавторами [1, 7, 8 и др.] выделяется «кракинский тип» платинометальной минерализации, характеризующийся субхондритовым распределением ЭПГ. Из минералов металлов платиновой группы упоминаются многокомпонентные твердые растворы и интерметаллиды тугоплавких платиноидов и платины, а также сульфиды и сульфохалькогениды этих элементов с примесями железа и никеля [7]. К сожалению, в работах не указываются конкретные места находок, а приуроченность их к лерцолит-гарцбургитовому разрезу с резко подчиненным раз-

витием дунитов позволяет ассоциировать данный тип с реститовым комплексом.

Авторами рассмотрена платиноносность габброидного комплекса западного фланга массива Средний Крака (рис. 1). Содержания элементов платиновой группы и золота в хромовых рудах и ультрамафитах определялись атомно-абсорбционным методом в лаборатории спектрального анализа ИГЕМ (зав. лабораторией В.В.Дистлер). Чувствительность анализа составила для Au, Ru, Ir — 50, Rh — 5–20, Pt — 10, Pd — 5 мг/т. Определение содержания Os не проводилось. Минералы благородных металлов исследовались в Институте минералогии УрО РАН на поляризационных микроскопах Axioscope A1, Olympus BX50, их состав изучался на растровых электронных микроскопах РЭММА 202М и Vega 3 Tescan с энергодисперсионными анализаторами Link Oxford.

Массивы Крака (Северный, Узянский, Средний, Южный) расположены в северной части Зилаиро-Сакмарской зоны и занимают площадь ~900 км². Средний Крака отличается от остальных массивов широким распространением габброидов и пироксенитов. Он имеет близкую к овалу форму, удлинённую в меридиональном направлении, размер 25×10 км (см. рис. 1). Массив состоит из двух комплексов — ультрабазитового (реститового) и габброидного (магматического). Первый занимает ~75% площади массива; в восточной части он сложен преимущественно лерцолитами и гарцбургитами, в юго-западной — дунитами, вмещающими ряд месторождений хромовых руд вкрапленного типа (Правый Саксей, Шатран, Ключевское и др.).

Габброидный комплекс примыкает к ультрабазитовому с запада, его разрез начинается верлитами и клинопироксенитами, которые сменяются меланократовыми гнейсовидными габбро и массивными среднезернистыми габбро и габбро-диоритами. Переход от ультрабазитового комплекса к габброидному наиболее хорошо выражен в районе месторождения Правый Саксей. С востока на запад в дунитах постепенно увеличивается количество и мощность клинопироксенитовых жил, секущих под острым углом хромититовую полосчатость. Клинопироксениты характеризуются порфирокластической структурой, мощность их прожилков изменяется от первых сантиметров на востоке до 0,3 м и более на западе. В этом же направлении происходит усложнение системы жил от однонаправленной (азимут простирания 300–320°) до ортогональной сети (азимут простирания 300–320° и 200–210°). Постепенно жилы сменяются телами шлирово-полосчатой текстуры, перемежающимися с дунитами и замещающими их по мере приближения к габброидам [10].

По-видимому, габброидный комплекс формировался на дунит-гарцбургитовом субстрате путем многочисленных инъекций расплава по сети трещин (в настоящее время они представлены пироксенитовыми жилами), затем происходили накопление базитового расплава и его внутрикамерная дифференциация [9]. Дуниты и гарцбургиты по отношению к габбро и породам полосчатого верлит-клинопироксенитового комплекса являлись пассивными вмещающими породами, а не дифференциатами расплава.

Западнее месторождения Правый Саксей доля пироксенитовых жил в дунитах возрастает, и они постепенно переходят в дифференцированный разрез полосчатого комплекса. В «нижней» (восточной) его части залегают те же порфировидные клинопироксениты, которые чередуются с мелкозернистыми верлитами, рудными пироксенитами, серпентинитами. Далее через горнблендиты (мощность до 50 м) или серпентинит-родингитовую (метасоматическую) переходную зону отмечается переход к габбро. Габброиды представлены с востока на запад следующими разновидностями: мелкозернистое полосчатое меланогаббро (100–200 м); мелко-среднезернистое мезогаббро (50–100 м), здесь фиксируется уровень обогащения сульфидами; габбро-диабазы (50–150 м); однородное средне-крупнозернистое мезо- и лейкократовое габбро, диориты, дайки базальтоидов и гранитоидов (0–250 м). Полосчатость и минеральная сланцеватость в меланократовых габброидах и породах верлит-пироксенитового комплекса имеет субвертикальное падение (азимут падения 80–130°, $\angle 70$ –80°).

Западно-Саксейское рудопроявление (точка СК-186) расположено в верховьях небольшого лога — притока ручья Черный Ключ, в 400 м западнее месторождения Правый Саксей и приурочено к оруденелым клинопироксенитам, залегающим в основании габброидного комплекса [9, 15]. В районе рудопроявления преобладают зеленые разноминеральные клинопироксениты с порфирокластической структурой. Основной объем породы сложен крупными до 10 мм деформированными кристаллами диопсида, сцементированными агрегатом более мелких зерен того же минерала. В породах наблюдаются многочисленные тонкие прожилки (0,05–0,2 м) сплошных, реже густовкрапленных мелкозернистых (размер зерен 0,01–0,1 мм) хромититов. Рудные прожилки являются более поздними по отношению к вмещающим их пироксенитам, иногда образуют штокверк или тонкую сетку в породе (рис. 2, а–в).

Образцы СК-186, СК-186-1, СК-186/3 и СК-186/4 отобраны из отвалов канав, пройденных при

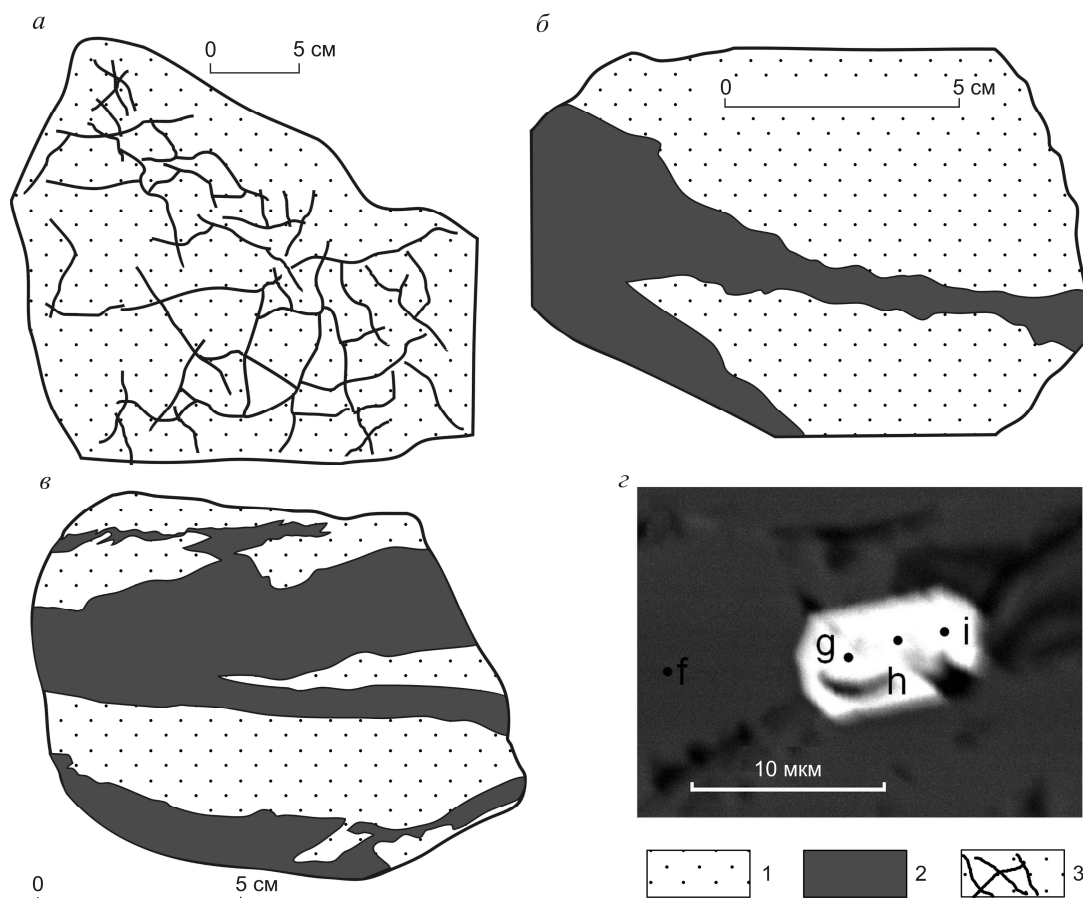


Рис. 2. Железистые хромититы Западно-Саксейского рудопоявления:

a — штокверк хромититов в порфирокластических крупнозернистых клинопироксенитах; *б, в* — жиллообразные выделения сплошных мелкозернистых хромититов (черное) с клинопироксенитами; *г* — кристалл тетраферроплатины в хромите (см. табл. 2)

поисковых работах на хромовые руды предположительно в 30-е годы. Атомно-абсорбционным анализом в пробах хромитит-клинопироксенитового состава и массивных хромититах установлены высокие концентрации платиноидов при среднем значении их суммы 1,55 г/т (табл. 1). Среди платиноидов наиболее высокие концентрации у Pt, затем следует Pd, ниже концентрации Rh и Ru. В целом геохимическая платинометальная специализация характеризуется преобладанием легкоплавкой ассоциации элементов и может быть отнесена к палладий-платиновому типу.

Изучение образцов хромититов и оруденелых клинопироксенитов показало, что акцессорная платинометальная минерализация, хотя и связана пространственно с прожилками железистых хромититов, чаще отмечается в нерудных участках возле агрегатов хромшпинелидов.

В хромите обр. СК-186-1 обнаружено несколько зерен платиноидов: кристалл тетраферроплатины с

элементами скелетного роста (см. рис. 2, *г*) и вытянутые групповые обособления. Кристалл тетраферроплатины характеризуется постоянным составом, практически не изменяющимся от его периферии к центру (табл. 2, обр. 5–7). В этом же образце встречены три зерна вытянутой формы железистого брэггита (?) размером 6–10 мкм. Их состав отличается значительными вариациями элементов (см. табл. 2, обр. 1–4). В образце СК-186 выявлен овальный нодуль миллерита с точечным выделением палладийсодержащего минерала. В пробах-протоколках из оруденелых клинопироксенитов рудопоявления Западно-Саксейское выделено самородное золото (И.Илалтдинов, устное сообщение). Кроме того, в некоторых образцах клинопироксенитов габброидного комплекса вблизи Западно-Саксейского проявления (обр. СК-785) зафиксированы высокие концентрации Au (2 г/т) при повышенных содержаниях Pt (0,2 г/т) и Pd (0,32 г/т) (см. табл. 1). Рудная минерализация в изученном образце клино-

1. Содержание элементов платиновой группы и золота в породах габброидного комплекса и хромититах массива Средний Крака, г/т

№№ п/п	№ обр.	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Au	Сумма
1	СК-99-186/4	0,53	0,13	0,03	<0,05	0,03	н/о	0,72
2	СК-99-186/3	1,64	0,47	0,11	0,06	0,11		2,39
3	СК-98-23/2	0,14	0,76	<0,005	<0,005	<0,005		0,90
4	СК-785	0,20	0,32				2,00	2,52
5	СК-98-58/3	0,01	0,02				н/о	0,03
6	СК-98-29	0,04	0,10					0,14
7	СК-98-24/3	0,18	<0,1	н/о	н/о	н/о	0,44	0,62
8	СК-98-24/5	0,53					0,01	0,54
9	СК-1505/1	<0,04					0,04	0,04
10	СК-1505/2	0,06					0,03	0,09
11	ПС (n=12)	<0,01	0,09	<0,005	<0,05	<0,05	0,07	0,16

П р и м е ч а н и е. Анализы 1–2 — клинопироксениты и железистые хромититы рудопрооявления Западно-Саксейское; 3–8 — ультрамафиты основания габброидного комплекса (3–4 — клинопироксениты, 5–8 — серпентинизированные верлиты и клинопироксенсодержащие дуниты); 9–10 — рудопрооявление железистых хромититов Логиновское (9 — клинопироксенит, 10 — хромитит); 11 — средние содержания ЭПГ и Au в хромовых рудах из дунитов ультрабазитового комплекса (Правосаксейская и Шатранская рудоносные зоны); н/о — содержание не определялось.

пироксенита представлена ксеноморфными выделениями кобальтистого пентландита, халькопирита и борнита (табл. 3) с развивающимися по ним вторичными халькозином, ковеллином, акантитом (подтвержден энергодисперсионным спектром) и гидроксидами железа. Форма выделений борнита указывает на его возможное гипогенное происхождение. Сульфидная минерализация ассоциирует с мельчайшими выделениями барита, также приуроченными к интерстициям породообразующего клинопироксена. В последнем в качестве сингенетичного включения присутствует идиоморфный кристалл хизлевудита (см. табл. 3, ан. 2). Рассматриваемый участок находится в бассейне руч. Черный Ключ, в аллювии которого известны находки россыпного золота (В.И.Сначев и др., 2000 г.). Приведенные факты создают предпосылки для положительной оценки перспектив юго-западной части массива Средний Крака на благороднометальное оруденение.

Сопоставление пород и руд Западно-Саксейского проявления с хромититами месторождений и рудопрооявлений Правосаксейской и Шатранской рудоносных зон, расположенных восточнее и приуроченных к дунитам ультрабазитового (реститового) комплекса, показало их значительное различие. Во-первых, в рудах указанных объектов не обнаружено значимых содержаний ЭПГ (см. табл. 1), во-вторых, состав рудообразующих хромшпинелидов и вмещающих оруденение пород различен. В дунитах и ассоциирующих с ними хромититах развиты высокохромистые шпинели с содержанием Cr_2O_3 52–58, Al_2O_3 8,6–11,7%, ΣFeO 18–24%. В хромити-

товых жилах Западно-Саксейского рудопрооявления состав шпинелидов следующий: Cr_2O_3 36,5, Al_2O_3 11,84%, ΣFeO 44,5%. На треугольной диаграмме в координатах $\text{Al} - \text{Cr} - \text{Fe}^{+3}$ точки составов шпинелей из рассматриваемых объектов резко разделены [10]. В то же время, близким составом к западно-саксейским характеризуются шпинелиды из клинопироксеновых дунитов и верлитов габброидного комплекса массива Средний Крака.

Другое проявление железистых хромититов, подобное Западно-Саксейскому, расположено к западу от Ключевского рудопрооявления (Е.А.Шумихин, В.В.Радченко, 1979 г.). Оно также приурочено к ультрамафитовой части габброидного комплекса массива Средний Крака (см. рис. 1). На данном проявлении канавами вскрыты порфирохлестические клинопироксениты, содержащие параллельные прожилки хромититов мощностью первые сантиметры. Предположительно данное проявление обнаружено в 30-е годы при поисковых работах на хромовые руды. Поскольку впервые хромитопрооявления, локализованные среди клинопироксенитов, упоминаются в отчете В.П.Логинова (1933 г.), это проявление было названо нами «Логиновским». В образцах клинопироксенитов (СК-1505/1) и хромититов (СК-1505/2), отобранных на Логиновском рудопрооявлении, значимые содержания платиноидов практически не установлены. Лишь в образце СК-1505/2 содержание Pt 0,06 г/т.

Оптико- и электронно-микроскопическое изучение образцов позволило выявить собственные минералы Ru, Os, Pd и природный сплав Ni и Fe, близкий к авариту (рис. 3). Минералы изоморфно-

2. Состав минералов платиновой группы по пяти аншлифам из образцов Западно-Саксеекого рудопроявления, мас. %

№№ п/п	№ аншлифа	Rh	Pt	Pd	Fe	Ni	Cu	S	Сумма	Кристаллохимическая формула	Минерал
1	СК 186-1		62,59	2,99	15,04	0,39	2,39	16,6	100,00	$Pt_{0,62}Fe_{0,52}Cu_{0,07}Pd_{0,05}Ni_{0,01}S_{1,00}$	Железистый брэггит
2	СК 186-1-2		50,06	5,17	31,35	1,00	3,11	9,32	100,01	$Fe_{1,93}Pt_{0,88}Cu_{0,17}Pd_{0,17}Ni_{0,06}S_{1,00}$	Железистый брэггит?
3	СК 186-1-3	-	58,81	2,24	16,77	0,46	1,65	20,07	100,00	$Pt_{0,48}Fe_{0,48}Cu_{0,04}Pd_{0,03}Ni_{0,01}S_{1,00}$	Железистый брэггит?
4	СК 186-1-4		57,88	5,48	19,44	0,45	3,09	13,66	100,00	$Fe_{0,82}Pt_{0,70}Pd_{0,12}Cu_{0,11}Ni_{0,05}S_{1,00}$	Тетраферроплатина
5	СК 186-1-5	1,35	76,98		21,06	0,34	0,27		98,65	$Pt_{0,49}Fe_{0,48}Rh_{0,01}Ni_{0,01}Cu_{0,01}$	Железистый брэггит?
6	То же	1,11	76,73	-	21,09	0,58	0,49	-	98,89	$Pt_{0,62}Fe_{0,52}Cu_{0,07}Pd_{0,05}Ni_{0,01}S_{1,00}$	
7	То же	1,05	76,49		21,59	0,55	0,32		98,95	$Fe_{1,93}Pt_{0,88}Cu_{0,17}Pd_{0,17}Ni_{0,06}S_{1,00}$	
	Среднее 5-7	1,17	76,73		21,25	0,49	0,36		98,83		

Примечание. Анализы выполнены В.А.Котляровым в Институте минералогии УрО РАН, СЭМ РЭММА 202М. Прочерк — элемент не обнаружен.

3. Состав сульфидов в клинопироксените Западно-Саксеекого проявления, обр. СК-785, мас. %

№№ п/п	S	Fe	Cu	Ag	Co	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула	Минерал
1	33,37	35,49	-		1,08	30,06	100,00	$(Ni_{3,94}Co_{0,14}Fe_{4,88})_{8,96}S_{8,00}$	Пентландит
2	27	1,72	0,95			69,38	99,05	$(Ni_{2,81}Fe_{0,07}Cu_{0,04})_{2,92}S_{2,00}$	Хизлеудит
3	25,07	10,62	64,31	-	-	-	100,00	$Cu_{5,18}Fe_{0,97}S_{4,00}$	Борнит, слабо замещенный халькозином
4	22,17	2,24	75,59			-	100,00	$(Cu_{1,72}Fe_{0,06})_{1,78}S_{1,00}$	Халькозин + ковеллин
5	22,04	0,34	77,62			-	100,00	$(Cu_{1,78}Fe_{0,01})_{1,79}S_{1,00}$	То же
6	28,37	4,5	64,3		0,46	2,37	100,00	$(Cu_{1,14}Fe_{0,09}Co_{0,01})_{1,29}S_{1,00}$	"
7	32,4	0,25	66,85	0,5	-	-	100,00	$Cu_{1,04}S_{1,00}$	Ковеллин

Примечание. Анализы выполнены И.А.Блиновым в Институте минералогии УрО РАН, СЭМ VEGA3 TESCAN. Прочерк — элемент не обнаружен. Спектры соответствуют рис. 3.

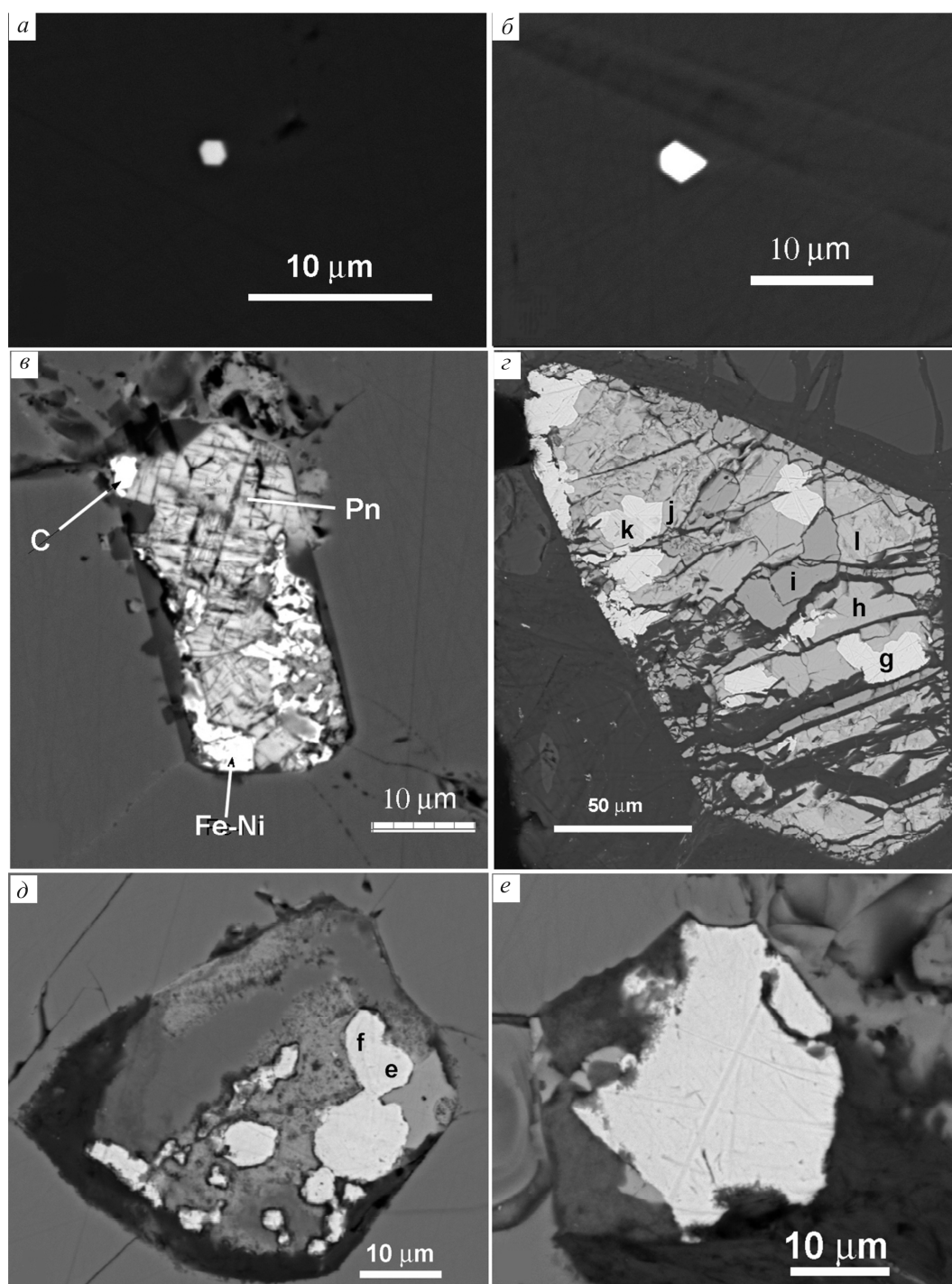


Рис. 3. Морфология выделений минералов элементов платиновой группы и ассоциирующих с ними (фото в отраженных электронах):

a — кристалл эрликманита (см. табл. 4, обр. 1) в хромите; *б* — кристалл лаурита в хромите (см. табл. 4, обр. 3); *в* — сросток плюмбопалладинита (см. табл. 4, обр. 2), пентландита (Pn) и никелистого железа (Fe-Ni), вокруг выделение хроммагнетита, вмещающий минерал — хромит; *г* — псевдоморфоза по неизвестному минералу, состоящая из железистого никеля (g), кобальтистого железа (k), пентландита (l), троилита (h, j) и оксида железа с примесями (i); *д* — включение в хромите: сросток железистого никеля (e, f), хроммагнетита и силиката; *е* — включение железистого никеля и силиката в хромите; *а-в, д-е* из обр. 9, 10 (см. табл. 1)

4. Состав минералов ПГЭ в хромите Логиновского проявления, обр. 1505-2, мас. %

№№ п/п	Ru	Rh	Os	Ir	Pd	Pb	Fe	S	Сумма	Формула
1	9,01	2,63	57,27	2,3	-	-	-	28,79	100	$\text{Os}_{0,67}\text{Ru}_{0,20}\text{Rh}_{0,06}\text{Ir}_{0,03}\text{S}_{2,00}$
2	37,93	-	22,69	5,49			-	33,90	100	$\text{Ru}_{0,71}\text{Os}_{0,23}\text{Ir}_{0,05}\text{S}_{2,00}$
3	35,7		25,65	2,56			1,37	33,98	99,27	$\text{Ru}_{0,67}\text{Os}_{0,25}\text{Fe}_{0,05}\text{Ir}_{0,03}\text{S}_{2,00}$
4	20,17		35,63	8			6,28*	29,91	100	$\text{Ru}_{0,43}\text{Os}_{0,40}\text{Fe}_{0,24}\text{Ir}_{0,09}\text{S}_{2,00}$
5	-	-	-	-	45,95	54,05	-	-	100	$\text{Pd}_{0,62}\text{Pb}_{0,38}$

Примечание. Анализы выполнены И.А.Блиновым в Институте минералогии УрО РАН, СЭМ VEGA3 TESCAN. Прочерк — элемент не обнаружен, звездочка — подсветка самородного железа.

го ряда лаурит-эрликманит образуют идиоморфные кристаллы различных сечений в хромите (см. табл. 3). Плюмбопалладинит встречен совместно с пентландитом, пирротинном, железистым никелем и магнетитом (тонкая кайма псевдоморфоз) (табл. 4–7; см. рис. 3, в, г). Он входит в состав сложных псевдоморфоз по неизвестному минералу, который образует идиоморфные и округлые выделения в хромите ($\text{Fe}_{0,62}\text{Mg}_{0,37}\text{Ni}_{0,01}\text{Cr}_{1,10}\text{Al}_{0,74}$) (см. рис. 3, г). Иногда подобные псевдоморфозы встречаются в серпентине. По-видимому, эти агрегаты замещают сингенетичные включения высокотемпературных твердых растворов сульфида никеля и железа + металл (округлые включения) или сульфидов — хизлевудит + пентландит (кристаллические включения). В таких же включениях наблюдаются субмикронные участки, обогащенные иридием. При серпентинизации включения замещаются агрегатом никелистого железа, в которых также фиксируются участки, обогащенные иридием.

Таким образом, сульфиды осмия и рутения в изученных образцах образуют идиоморфные кристаллы размером первые микрометры и приурочены к хромиту. Плюмбопалладинит и недиагностированный минерал иридия встречены в составе сложных включений в хромите, состоящих преимущественно из пентландита, пирротина и сплава

никеля и железа. В том же зерне хромита присутствуют округлые (расплавные?) включения высокомагнезиального клинопироксена $\text{Ca}_{0,92}\text{Mg}_{0,92}\text{Fe}_{0,08}\text{Cr}_{0,03}\text{Al}_{0,03}\text{Na}_{0,02}\text{Mn}_{0,01}(\text{Si}_{1,95}\text{Al}_{0,05})_2\text{O}_{6,00}$ и серпентинизированного оливина. Обращает на себя внимание низкая железистость пироксена.

Сульфидно-металлические включения, по-видимому, представляют собой продукт распада первичных высокотемпературных сульфидов с дефицитом серы, близких к хизлевудиту, на ассоциацию пентландита и железистого никеля или никелистого железа. При серпентинизации металлы в этих сульфидах восстанавливаются до самородных фаз с высвобождением и миграцией серы и образованием вторичных сульфидов в серпентинитах.

Помимо пироксенитов и хромититов Западно-Саксейского и Логиновского проявлений, изучены несколько образцов из ультрамафитовой части разреза габброидного комплекса в верховьях руч. Сухоляд (см. рис. 1). Образцы СК-98-23, 24 представлены «черными» оливиновыми клинопироксенитами и верлитами, содержащими значительное количество пылевидного магнетита и обладающими высокой магнитной восприимчивостью. Образец СК-98-29 — почти полностью серпентинизированный клинопироксенсодержащий дунит также с высоким содержанием магнетита.

5. Состав сплавов системы Fe-Ni-Co-Cu (мас. %) из обр. 1505/1 и 1505/2

№№ п/п	Fe	Ni	Co	Cu	Сумма	Формула
1	41,12	59,09	-	-	100,2	$\text{Ni}_{0,48}\text{Fe}_{0,42}$
2	39,58	61,23			100,81	$\text{Ni}_{0,60}\text{Fe}_{0,40}$
3	29,62	69,62			99,24	$\text{Ni}_{0,69}\text{Fe}_{0,31}$
4	69,86	2,03	26,88	1,12	99,89	$\text{Fe}_{0,71}\text{Co}_{0,26}\text{Ni}_{0,2}\text{Cu}_{0,01}$
5	24,11	73,26	1,26	1,37	100	$\text{Ni}_{0,72}\text{Fe}_{0,25}\text{Co}_{0,01}\text{Cu}_{0,01}$
6	25,96	73,09	-	0,35	99,4	$\text{Ni}_{0,73}\text{Fe}_{0,27}$
7	33,54	62,64	2,74	1,09	100	$\text{Ni}_{0,62}\text{Fe}_{0,34}\text{Co}_{0,03}\text{Cr}_{0,01}$
8	29,93	68,32	-	1,75	100	$\text{Ni}_{0,67}\text{Fe}_{0,31}\text{Cr}_{0,02}$
9	36,17	62,17		1,67	100,01	$\text{Ni}_{0,61}\text{Fe}_{0,37}\text{Cr}_{0,02}$

Примечание. См. табл. 4.

6. Состав пентландита (1–3) и троилита (4–6), ассоциирующих с железистым никелем в псевдоморфозе, обр. 1505/1, мас. %

№№ п/п	S	Fe	Cu	Co	Ni	Сумма	Формула
1	33,42	35,4	4,04	-	28,06	100,92	(Fe _{4,86} Ni _{3,67} Cu _{0,49}) _{9,02} S _{8,00}
2	33,08	40,35	-	0,63	25,94	100	(Fe _{5,60} Ni _{3,43} Co _{0,08}) _{9,11} S _{8,00}
3	33,38	40,46		-	26,16	100	(Fe _{5,57} Ni _{3,42}) _{8,99} S _{8,00}
4	36,0	60,27	0,73		3,01	100	(Fe _{1,01} Ni _{0,02}) _{1,02} S _{1,00}
5	36,03	62,9	-		1,07	100	(Fe _{1,00} Ni _{0,02}) _{1,02} S _{1,00}
6	35,97	63,18	0,85		-	100	(Fe _{1,01} Cu _{0,01}) _{1,02} S _{1,00}

Примечание. См. табл. 4.

В верлитах и оливиновых клинопироксенитах выявлены повышенные концентрации благородных металлов с преобладанием легкоплавких платиноидов (Pt, Pd) (см. табл. 1). Минералогическое изучение образцов показало присутствие характерной для клинопироксенитов пирротин-пентландит-магнетитовой ассоциации. Собственные минералы ЭПГ в изученных аншлифах не обнаружены.

Потенциальные перспективы промышленной благороднометаллической минерализации на массиве Средний Крака связаны, в первую очередь, с узкой полосой ультрамафитов основания габброидного комплекса, включающих верлиты, клинопироксениты и приуроченные к ним проявления железистых хромититов. Хотя по особенностям строения и дифференциации габброидный комплекс массива значительно отличается от классических расслоенных интрузий, на всем его протяжении (>5 км) можно четко выделить его основную и ультраосновную части. Ширина выхода последней на поверхность составляет от 200 до 600 м. Потенциально рудоносны три ассоциации: феррихромитит-клинопироксенитовая, малосульфидная клинопироксенитовая и магнетитовых верлитов и клинопироксенитов.

Наиболее детально изучены проявления Западно-Саксейское и сопутствующие ему малосульфид-

ные клинопироксениты. В них содержание платиноидов до 2,39 г/т, Au до 2 г/т, обнаружены собственные минералы платиноидов и золота. Минералы элементов платиновой группы встречаются также в хромититах Логиновского проявления, высокие содержания золота и платины зафиксированы в верлитах и клинопироксенитах Сухолядовского участка. Все это говорит о том, что ультрамафитовый горизонт габброидного комплекса массива Средний Крака потенциально перспективен на обнаружение новых проявлений благороднометаллической минерализации.

Итак, в ультрамафитовой части габброидного комплекса массива Средний Крака впервые обнаружены минералы платиновой группы, представленные тетраферроплатиной, железистым брэггитом, плюмбопалладинитом, лаурином и эрликманитом.

В клинопироксенитах и приуроченных к ним небольших проявлениях железистых хромититов установлены высокие содержания благородных металлов. Суммарное содержание платиноидов составляет от 0,72 до 2,39 г/т.

Потенциальная благороднометаллическая рудоносность ультрамафитов габброидного комплекса массива Средний Крака связана с тремя ассоциациями: 1) феррихромитит-клинопироксенитовой, 2) клино-

7. Состав пентландита (1–3) и хизлевудита (4, 5) из включений в хромите, обр. 1505/2, мас. %

№№ п/п	S	Fe	Co	Ni	Cu	Сумма	Формула
1	33,23	35,53	0,54	30,7	-	100	(Fe _{4,91} Ni _{4,04} Co _{0,07}) _{9,02} S _{8,00}
2	33,52	40,17	0,52	25,79		100	(Fe _{5,50} Ni _{3,36} Co _{0,07}) _{8,93} S _{8,00}
3	33,58	37,54	0,67	28,21		100	(Fe _{5,13} Ni _{3,67} Co _{0,09}) _{8,89} S _{8,00}
4	27,27	1,91	-	70,21		99,39	(Ni _{2,81} Fe _{0,08}) _{2,89} S _{2,00}
5	27,0	1,72		69,38	0,95	99,05	(Ni _{2,81} Fe _{0,07} Cu _{0,04}) _{2,92} S _{2,00}

Примечание. См. табл. 4.

пироксенитовой малосульфидной и 3) магнетитовых верлитов и клинопироксенитов.

Работа выполнена при поддержке гранта «РФФИ-Поволжье», проект «№14-05-97001 р_поволжье_а».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И. Платиноносность ультрамафитов и хромовых руд альпинотипных массивов Главного офиолитового пояса Урала // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 2. С. 182–200.
2. Волченко Ю.А., Неустроева И.И., Вилисов В.А. Платиноидное оруденение краевых полосчатых серий альпинотипных комплексов Урала // Ежегодник-1992. Екатеринбург, 1993. С. 77–80.
3. Дмитриенко Г.Г., Горелова Е.М., Савельева Г.Н. Минералы платиноидов в хромитах массива Нурали (Южный Урал) // Докл. РАН. 1992. Т. 324. № 2. С. 403–406.
4. Знаменский С.Е., Даниленко С.А., Ковалев С.Г., Сначев В.И. Генетические типы и платиноносность хромитов Нуралинского габбро-гипербазитового массива (Южный Урал) // Познание и сбережение недр РБ. Уфа, 1996.
5. Ковалев С.Г., Сначев В.И., Савельев Д.Е. Перспективы платиноносности рудных формаций башкирской части Южного Урала // Горный журнал: изв. вузов. 1997. № 5–6. С. 34–40.
6. Молошаг В.П., Смирнов С.В. Платиноидная минерализация Нуралинского гипербазит-габбрового массива (Южный Урал) // Зап. ВМО. 1996, Ч. CXXXV. № 1. С. 48–54.
7. Новые и перспективные типы платинометального оруденения Урала / Ю.А.Волченко, К.К.Золоев, В.А.Коротеев и др. // Геология и металлогения Урала. Кн. 1. Екатеринбург, 1998. С. 238–255.
8. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала / К.К.Золоев, Ю.А.Волченко, В.А.Коротеев и др. – Екатеринбург: ДПР, 2001.
9. Савельев Д.Е. Петрогеохимические особенности и рудоносность габбро-гипербазитового массива Средний Крак: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 2000.
10. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитовосность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
11. Смирнов С.В. Петрология верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации Нуралинского гипербазитового массива и связанное с ним платиноидное оруденение: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Екатеринбург, 1995.
12. Смирнов С.В., Волченко Ю.А. Первая находка платиноидной минерализации в хромитовых рудах Нуралинского массива на Южном Урале // Ежегодник-91. Екатеринбург, 1992. С. 115–117.
13. Смирнов С.В., Молошаг В.П. Первое Pt-Pd-е рудопроявление Нуралинского массива // Ежегодник-92. Екатеринбург, 1993. С. 92–94.
14. Сначев В.И., Ковалев С.Г., Рыкус М.В., Высоцкий И.В. Новые данные по платиноносности западного склона Южного Урала. – Препринт. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1996.
15. Сначев В.И., Савельев Д.Е., Рыкус М.В. Петрогеохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крак. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2001.
16. Фоминых В.Г., Хвостова В.П. О платиноносности дунитов Урала // ДАН СССР. 1970. Т. 191. № 2. С.443–445.